



AVALIAÇÃO DOS DOIS PRIMEIROS ANOS DE OPERAÇÃO DE UM WETLAND CONSTRUÍDO VERTICAL DE FUNDO SATURADO APLICADO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Mayara Oliveira dos Santos¹, Catiane Pelissari¹, Benny Zuse Rousso², Monique Nunes de Freitas¹, Pablo Heleno Sezerino^{2*}

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 88040-900, Florianópolis, Brasil.

²Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, 88040-900, Florianópolis, Brasil.

*E-mail: pablo.sezerino@ufsc.br

Recebido em: 15/08/2017

Aceito em: 23/11/2017

RESUMO

Este artigo apresenta o desempenho de remoção de poluentes promovido por um *wetland* construído vertical de fundo saturado (WCV-FS), empregado no tratamento de esgoto sanitário, ao longo de 21 meses de operação e monitoramento. O WCV-FS (7,5 m² de área superficial) possui uma profundidade de 75 cm, com os últimos 40 cm saturados com esgoto, areia como material filtrante e plantado com *Typha domingensis*. A alimentação foi realizada de forma intermitente (4 pulsos d⁻¹), com um regime hidráulico baseado em ciclos de alimentação e repouso de 3,5 dias na semana. Durante o estudo (junho/15 - março/17), o WCV-FS operou com uma carga orgânica média de 41 g DQO m⁻² d⁻¹ e taxa hidráulica de 80 mm d⁻¹. O WCV-FS apresentou elevada remoção de matéria orgânica carbonácea em termos de DQO (91 %) e sólidos suspensos (96 %), apresentando um desempenho de tratamento similar aos sistemas híbridos de *wetlands* avaliados no estado de Santa Catarina. Em relação ao nitrogênio total, a remoção média foi de 45 %, podendo estar associada com os processos de nitrificação e desnitrificação sequencial na mesma unidade de tratamento.

Palavras-chave: Esgoto sanitário. *Wetland* construído vertical de fundo saturado. Remoção e transformação de poluentes.

1 Introdução

Os *wetlands* construídos verticais (WCV) são considerados uma ecotecnologia mundialmente consolidada para o tratamento de diversos tipos de efluentes, sendo empregada tanto em nível primário, quanto secundário e terciário de tratamento. Usualmente, os WCV são dimensionados baseados em parâmetros de projeto que permitam prevalecer ambientes oxidativos no interior do maciço filtrante, como é o caso da taxa hidráulica (TH) e a carga orgânica aplicadas sob a área superficial da unidade [1-2]. Dessa forma, essa modalidade de *wetland* é empregada principalmente para a remoção da matéria orgânica carbonácea e na promoção da nitrificação [3-4].

Contudo, os WCV apresentam limitações quanto à remoção de nitrogênio total, apresentando taxas de remoção variando entre 0,7 e 1,7 g NT m⁻² d⁻¹ [3]. Essa limitação está associada principalmente com a insuficiência/ausência de ambientes redutores, para assim, maximizar o processo da desnitrificação [3]. O baixo desempenho de remoção de nitrogênio nos WCV, tem direcionado à utilização de estratégias operacionais nessas unidades, como o caso da recirculação [5], a operação com ciclos de enchimentos e drenagem, conhecidos como *tidal flow* [6], ou até mesmo a promoção de uma modificação na modalidade clássica dos WCV, como a utilização de uma saturação de fundo,

proporcionada pela altura do controlador de nível. Essa modificação vem sendo chamada de *wetland* construído vertical de fundo saturado (WCV-FS).

A capacidade de remoção de nitrogênio nos WCV-FS, visto que os mesmos apresentam condições aeróbias e anóxicas/anaeróbias no mesmo reator, já foi demonstrado por outros estudos, inclusive, realizados no Brasil [7-9]. Além disso, um recente estudo [10] mostrou através de ferramentas moleculares, em nível de RNA, que a camada saturada do WCV-FS promoveu condições favoráveis para manter a atividade de populações desnitrificantes ao longo do período avaliado. Apesar da remoção de nitrogênio não ser mais uma limitação nos WCV-FS, ainda não se tem um comportamento de tratamento conhecido para essas unidades, uma vez que distintas condições operacionais desencadeiam diferentes estruturas microbianas presentes no interior do biofilme agregado ao maciço filtrante [8, 11-12], o que proporcionam distintas vias de remoções e transformações de poluentes.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de tratamento promovida por um *wetland* construído vertical de fundo saturado empregado no tratamento de esgoto sanitário, ao longo dos primeiros 21 meses de operação e monitoramento.

2 Materiais e métodos

Este estudo foi conduzido nas dependências do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis/SC. O esgoto sanitário era coletado em uma rede coletora municipal, de um bairro de Florianópolis, e após passagem pelo tratamento primário realizado por um tanque séptico, o mesmo era bombeado intermitentemente para o WCV-FS.

O WCV-FS possui uma área superficial de 7,5 m², profundidade de 75 cm, com os últimos 40 cm do maciço filtrante saturado com o esgoto sanitário submetido ao tratamento, conforme recomendações [8]. Areia grossa ($d_{10} = 0,29$ e $U = 4$) foi utilizada como material filtrante e a macrófita empregada foi a *Typha domingensis*. Durante o período de estudo (junho/2015 – abril/2017), o WCV-FS operou sob carregamento orgânico médio de 41 g DQO m⁻² d⁻¹, conforme recomendações [2]. A vazão aplicada foi de 600 L d⁻¹ por meio de 4 pulsos por dia, o que resultou em uma TH de 80 mm d⁻¹. O WCV-FS foi operado com um regime hidráulico baseado em 3,5 dias de alimentação e 3,5 dias de repouso na semana (Figura 1).

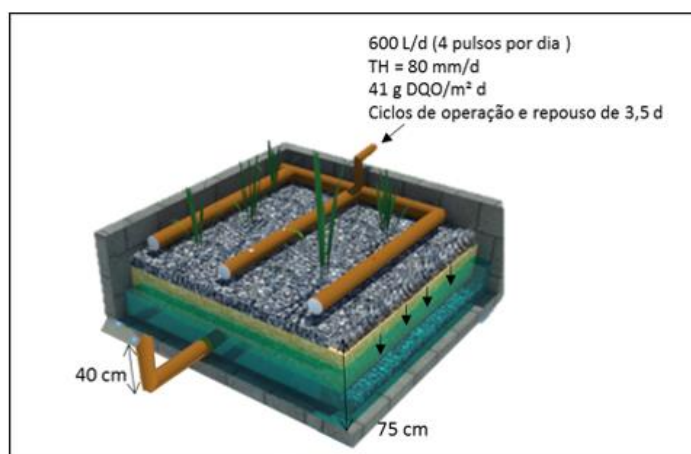


Figura 1 – Esquema demonstrando os detalhes do wetland construído vertical de fundo saturado.

O monitoramento físico-químico do afluente e efluente do WCV-FS foi realizado desde a 1ª semana de operação até a 90ª semana, totalizando 21 meses de operação (630 dias). As análises foram realizadas com uma frequência quinzenal ao longo do período de monitoramento. Os parâmetros analisados foram pH, alcalinidade, sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e nitrogênio nitrato e nitrito (N-NO_x) seguindo recomendações de [13-14].

3 Resultados e discussão

De forma geral, o WCV-FS apresentou remoções variáveis de matéria orgânica carbonácea, sólidos suspensos e nitrogênio ao longo do período avaliado (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentrações médias e desvio padrão afluente e efluente do wetland construído vertical de fundo saturado.

Parâmetros $\eta = 43$	Afluente WCV-FS	Efluente WCV-FS	Remoção Média (%)
pH	7,3 ± 0,2	6,7 ± 0,4	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	280,5 ± 35,5	92,6 ± 73,7	-
SST (mg L ⁻¹)	45,7 ± 18,3	2,3 ± 5,6	96 ± 9
DQO (mg L ⁻¹)	496,0 ± 144,0	45,7 ± 39,8	91 ± 7
NT (mg L ⁻¹) *	80,4 ± 16,0	44,3 ± 10,2	45 ± 10
N- NH ₄ (mg L ⁻¹)	76,5 ± 14,4	25,6 ± 12,8	66 ± 17
N- NO _x (mg L ⁻¹)	ND	28,8 ± 19,5	-

* $\eta = 23$ amostragens.

A carga média aplicada de SST foi de 3,7 g m⁻² d⁻¹ e a eficiência de remoção foi próxima a 100 % (96 ± 9 %) (Figura 2), liberando o efluente final com concentrações médias próximas de 2 mg L⁻¹.

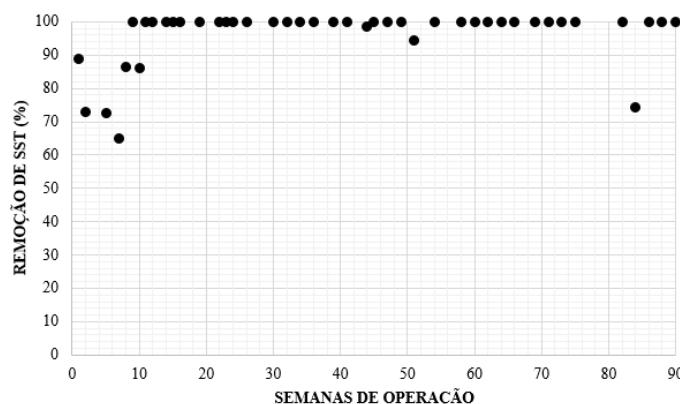


Figura 2 – Eficiências de remoção de SST do wetland construído vertical de fundo saturado.

O desempenho de tratamento do WCV-FS foi superior ao identificado em um WCV (70 m² área superficial, operado sob uma carga média 5 g SST m⁻² d⁻¹, com areia como material filtrante) que apresentou remoções média de 63 % [15]. Devido a capacidade de ocorrer a acumulação e adsorção de SST na camada saturada do WCV-FS, essas unidades apresentam maior capacidade de remoção que os WCV [16]. Além disso, o desempenho de tratamento do WCV-FS foi superior ao identificado em um sistema híbrido de wetland (72 %), composto

por WCV (70 m² de área superficial) e *wetland* construído horizontal (WCH) (50 m² de área superficial) operados em série [15], e similar ao reportado [17] em um sistema híbrido (WCV + WCH), que apresentou remoções na ordem de 99 %.

Considerando a carregamento orgânico aplicada de 41 g DQO m⁻² d⁻¹, o WCV-FS apresentou elevada remoção de DQO (91 ± 7 %), exibindo valores de DQO no efluente final de 45,7 mg L⁻¹ (Tabela 1). Esse desempenho de tratamento foi similar à remoção global de 98 ± 2 % (com concentrações finais de DQO no efluente de 21 mg L⁻¹) obtida por um sistema híbrido, composto por um WCV (operado com uma carga orgânica média de 41 g DQO m⁻² d⁻¹) e WCH (operado com uma carga orgânica média de 1,6 g DQO m⁻² d⁻¹), totalizando uma área superficial de 22,5 m² de filtro [17]. A elevada remoção de DQO no WCV-FS pode estar associada com o regime hidráulico operado, intercalando ciclos de alimentação e repouso de 3,5 dias. Opostamente, [10] em um WCV-FS (com 35 cm de saturação de fundo), operado com uma carga orgânica semelhante à desse estudo (40 g DQO m⁻² d⁻¹) e com alimentação diária, identificou remoções de DQO inferiores, na ordem de 60 ± 19 %. Portanto, o regime hidráulico com períodos de alimentação e repouso beneficiou a mineralização da matéria orgânica no meio, conforme já mostrado por [18], maximizando assim, a remoção de carbono nessa unidade.

Além disso, cabe ressaltar que após a 15ª semana de operação, o WCV-FS apresentou estabilidade na remoção de DQO, atingindo na grande maioria do tempo, remoções superiores a 90 % (Figura 3), o que demonstra a adaptação da microbiota heterotrófica na unidade após esse período. Nos *wetlands* subsuperficiais, bactérias heterotróficas são o primeiro grupo a se desenvolver e colonizar o meio [19].

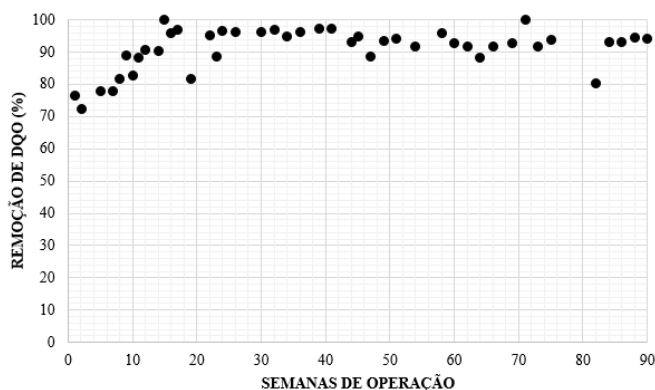


Figura 3 – Eficiências de remoção de DQO do *wetland* construído vertical de fundo saturado.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, o WCV-FS operou com uma carga média de 6 g N-NH₄⁺ m⁻² d⁻¹ e a eficiência de remoção foi de 66 ± 17 %. O processo de nitrificação foi evidente nessa unidade (28,8 mg L⁻¹ N-NO_x produzidos), o que indica que a camada saturada não influenciou na oxidação do nitrogênio amoniacal. Resultados semelhantes de remoção de nitrogênio

amoniacal (68 %) em WCV-FS operado sob uma carga de 3 g N-NH₄⁺ m⁻² d⁻¹ foi relatado por [10], e remoção de 75 % em um WCV operado com uma carga média de 10 g N-NH₄⁺ m⁻² d⁻¹, relatados por [15].

Apesar de ter identificado nitrogênio oxidado no efluente final (Figura 4), a remoção média de nitrogênio total foi de 45 ± 10 %. Esses valores foram semelhantes aos 49 % de remoção identificados em um WCV-FS operado com 35 cm de saturação de fundo, sob clima mediterrâneo [10] e 58 % em um WCV-FS operado com 25 cm de saturação de fundo, sob condições climáticas subtropicais [9]. Dessa forma, o processo de nitrificação e desnitrificação sequenciais na mesma unidade de tratamento, pode ter sido a principal via de transformação do nitrogênio, uma vez que essa via de transformação já foi comprovada por meio de estudos microbiológicos [10].

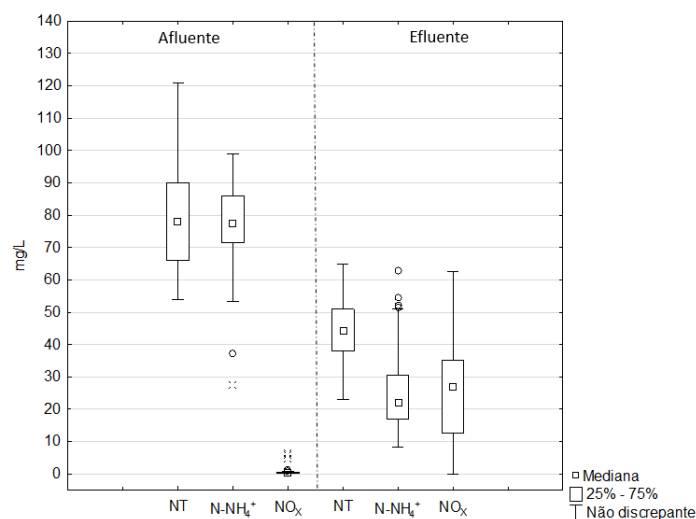


Figura 4 – Concentrações das frações nitrogenadas identificadas no afluente e efluente do *wetland* construído vertical de fundo saturado.

Além dos resultados relacionados à remoção de poluentes, as macrófitas da espécie *Typha domingensis* adaptaram-se bem no WCV-FS estudado, apresentando bom desenvolvimento, tanto em crescimento foliar quanto em cobertura da área vegetal. Após 12 meses do transplântio, que foi realizado na proporção de 4 plantas m⁻², o WCV-FS apresentou 265 indivíduos (35 plantas m⁻²), mostrando homogênea cobertura vegetal. O bom desenvolvimento da macrófita provavelmente está relacionado à saturação do maciço filtrante, o qual disponibilizou maior umidade ao meio. Estudos com ensaios em colunas simulando filtros biológicos com variáveis de projeto, incluindo espécies de macrófitas e zonas saturadas, concluiu que a inclusão de uma zona saturada em filtros biológicos tem grande importância para as macrófitas, na proteção das mesmas contra a variabilidade climática, principalmente relacionada à disponibilidade hídrica [20]. Além da adaptação e do

desenvolvimento, as macrófitas também se apresentaram resilientes em relação à presença de plantas invasoras e infestação de afídeos.

O WCV-FS se mostrou viável para o tratamento de esgoto sanitário, demandando um procedimento operacional simplificado, capaz de promover nitrificação e desnitrificação no mesmo reator e aumentar a eficiência de tratamento sem indução de energia, em uma única modalidade de *wetland* construído vertical, além de possibilitar a redução de área necessária destinada ao tratamento de efluentes.

4 Conclusões

Por meio do monitoramento ao longo dos primeiros 21 meses de operação de um *wetland* construído vertical de fundo saturado, aplicado no tratamento de esgoto sanitário, pode-se concluir que:

- O WCV-FS apresentou elevada remoção de matéria orgânica carbonácea em termos de DQO (91 %) e sólidos suspensos totais (96 %), apresentando desempenho similar aos sistemas híbridos de *wetlands* avaliados no estado de Santa Catarina;
- Em relação aos compostos nitrogenados, o WCV-FS apresentou satisfatórias remoções médias de NT (45 %) e N-NH₄⁺ (66 %);
- A saturação de fundo de 40 cm foi capaz de propiciar nitrificação e desnitrificação no mesmo reator, aumentando assim a eficiência de remoção de poluentes sem necessidade de indução de energia em uma única modalidade de *wetland* construído vertical, além de criar um ambiente adequado para o desenvolvimento da macrófita *Typha domingensis*.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FUNASA e ao CNPq pelo financiamento e suporte da pesquisa.

EVALUATION OF THE TWO FIRST YEARS OF OPERATION OF A PARTIALLY SATURATED VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND APPLIED IN URBAN WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT: This article presents the performance of pollutant removal promoted by a partially saturated vertical constructed wetland, used in treatment of domestic wastewaters, along 21 months of operation and monitoring. The wetland (7.5 m² of surface area) has a depth of 75 cm, with the last 40 cm saturated with wastewater, sand used as filter material and planted with *Typha domingensis*. The feeding was performed intermittently (4 pulses d⁻¹), with a hydraulic regime based on feeding and resting cycles of 3.5 days in the week. During the study (June/15 -

March/17), the wetland operated with an average organic load of 41 g COD m⁻² d⁻¹ and with a hydraulic rate of 80 mm d⁻¹. The wetland presented high removal of carbonaceous organic matter in terms of COD (91%) and suspended solids (96%), presenting a treatment performance similar to hybrid wetland systems evaluated in the state of Santa Catarina. In relation to total nitrogen, the average removal was 45%, and may be associated with the processes of nitrification and sequential denitrification in the same treatment unit.

Keywords: Wastewater. Partially saturated vertical constructed wetland. Removal and transformation of pollutants.

Referências

- [1] PLATZER, C. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*, Vol. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.
- [2] SEZERINO, Pablo Heleno. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (Constructed Wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condição de clima subtropical. 2006. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- [3] VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, Vol. 380, p. 48-65, 2007.
- [4] KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. *Treatment Wetlands*. 2. ed. Taylor & Francis Group. 2009. 1000p.
- [5] FOLADORI, P.; RUABEN, J.; ORTIGARA, A. R. C. Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: a comparative study for treating high load wastewater. *Bioresource Technology*, Vol. 149, p. 398-405, 2013.
- [6] WU, S.; KUSCHK, P.; BRIX, H.; VYMAZAL, J.; DONG, R. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*, Vol. 57, p.40-55, 2014.
- [7] TREIN, C. M.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. *Ambiente Construído*, Vol. 15, n. 4, p. 351-367, 2015.
- [8] SANTOS, M. O.; PELISSARI, C.; ROUSSO, B. Z.; SEZERINO, P. H. Influência da saturação de fundo de maciços filtrantes componentes de wetlands construídos verticais aplicados no tratamento de esgoto sanitário. *AIDIS*, Vol. 9, n. 3, p. 303-316, 2016.
- [9] PELISSARI, C.; ÁVILA, C.; TREIN, C. M.; GARCÍA, J.; DE ARMAS, R. D.; SEZERINO, P. H. Nitrogen transforming bacteria within a full-scale partially saturated vertical subsurface flow constructed wetland treating urban wastewater. *Science of the Total Environment*, Vol. 574, p. 390-399, 2017.
- [10] PELISSARI, Catiane. Dinâmica microbiana nitrificante e desnitrificante em wetland construído vertical. 2017. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- [11] MENG, P.; PEI, H.; HU, W.; SHAO, Y.; LI, Z. How to increase microbial degradation in constructed wetlands: Influencing factors and improvement measures. *Bioresource Technology*, Vol. 157, p. 316-326, 2014.
- [12] PELISSARI, C.; GUIVERNAU, M.; VIÑAS, M.; DE SOUZA, S. S.; GARCÍA, J.; SEZERINO, P. H.; ÁVILA, C. Unraveling the active microbial

populations involved in nitrogen utilization in a vertical subsurface flow constructed wetlands treating urban wastewater. *Science of the Total Environment*, Vol. 584, p. 642-650, 2017.

[13] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. APHA, Washington, 2005.

[14] VOGEL, A. L. *Análise inorgânica qualitativa*. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1981.

[15] SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; PELISSARI, C.; SUNTTI, C.; TREIN, C.M.; SCARATTI, D.; MAGRI, M. E.; PHILLIPI, L. S. Two different layouts of constructed wetlands applied as decentralized wastewater treatment in southern Brazil. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Perth, Australia, 2012.

[16] DONG, Z.; SUN, T. A potential new process for improving nitrogen removal in constructed wetlands: promoting coexistence of partial nitrification and ANAMMOX. *Ecological Engineering*, Vol. 31, p. 69-78, 2007.

[17] ROUSSO, B. Z. *Avaliação de um sistema híbrido de wetlands construídos empregado no tratamento de esgoto sanitário*. 2017. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

[18] MOLLE, P.; PROST-BOUCLE, S.; LIENARD, A. Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: A full-scale experiment study. *Ecological Engineering*, Vol. 34, p. 23-29, 2008.

[19] SAMSÓ, R.; GARCÍA, J. Bacteria distribution and dynamics in constructed wetlands based on modelling results. *Science of the total environment*, Vol. 461-462, p. 430-40, 2013.

[20] PAYNE, E. G.; PHAM, T.; COOK, P. L.; FLETCHER, T. D.; HATT, B. E.; DELETIC, A. Biofilter design for effective nitrogen removal from stormwater – influence of plant species, inflow hydrology and use of a saturated zone. *Water Science and Technology*, Vol. 69, n. 6, p. 1312-1319, 2014.